

某核电厂取水拦污设施波浪力试验研究

黄宣军¹, 郭朝禹², 孙运佳¹, 张先波¹

(1. 中交天津港湾工程研究院有限公司, 中国交建海岸工程水动力重点实验室, 天津 300222;
2. 深圳中广核工程设计有限公司, 广东 深圳 518172)

摘要: 作为核电厂取水拦污设施的重要组成部分, 拦污网及高桩承台已经在核电工程中得到了广泛使用。通过某核电厂取水拦污设施波浪物理模型试验, 研究拦污网主缆绳及高桩承台在不同拦污网堵塞率条件下的受力变化。根据测试结果, 建议主缆绳的直径增大至 48 mm 或更大, 考虑到高桩承台的受力较大, 建议拦污网的堵塞率不超过 20%。有关成果可为取水拦污设施的结构设计与选型提供参照与指导。

关键词: 核电; 取水; 拦污网; 堵塞率; 波浪力

中图分类号: U698.7; U652.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-7874(2018)03-0034-04

doi: 10.7640/zggwjs201803008

Experimental study of wave force on trash block facility of water intake in nuclear power plant

HUANG Xuan-jun¹, GUO Chao-yu², SUN Yun-jia¹, ZHANG Xian-bo¹

(1. CCCC Tianjin Port Engineering Institute Co., Ltd., Key Hydrodynamic Laboratory for Coastal Engineering of CCCC, Tianjin 300222, China; 2. China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518172, China)

Abstract: At present, as an important component of trash block facilities of water intake in nuclear power plants, trash blocking net and high pile platform have been widely used in nuclear power plants projects. We used wave physical model test of trash block facilities of water intaking in a nuclear power plant to investigate force change of main cable in trash blocking net, high pier platform under trash blocking net with different block rate conditions. According to the test results, the diameter of the main cable is recommended to 48 mm or more. And considering the great force on high pier platform, the blocking rate of the trash blocking net is not more than 20%. The result can give reference and guidance to similar trash blocking structure design and type selection in the future.

Key words: nuclear power; water intake; trash blocking net; blocking rate; wave force

1 概述

近年来, 国内多个在运核电机组相继出现了水草、垃圾、海生物等污染物堵塞拦污网的事件, 不仅严重影响了电站的取水安全, 也对取水拦污设施的结构安全构成危害。

本文通过某核电厂取水拦污设施波浪物理模型试验, 对取水明渠口门处拦污网的结构受力进

行测试和研究, 包括不同拦污网堵塞率条件下拦污网主缆绳拉力及高桩承台波浪力等参数, 为类似取水拦污设施的结构设计与选型提供参照与指导。

2 拦污网平面布置方案

本次研究拦污设施位于取水口门处, 拦污网轴线呈“一字形”布置, 详见图 1。在两侧的防波堤堤头和岸上分别设置混凝土锚块 M1 和 M2, 锚块之间每隔 35 m 布置 1 座三桩承台 Y1—Y5, 靠近岸边设置 2 座九桩承台 Y6—Y7, 2 座九桩承台之间设置间距 30 m 的过船口。

收稿日期: 2017-09-11 修回日期: 2017-10-22

作者简介: 黄宣军 (1982—), 男, 浙江湖州人, 硕士, 高级工程师, 主要从事港口、海岸工程和滨海电厂水工模型试验研究工作。
E-mail: huangxuanjun@tpei.com.cn

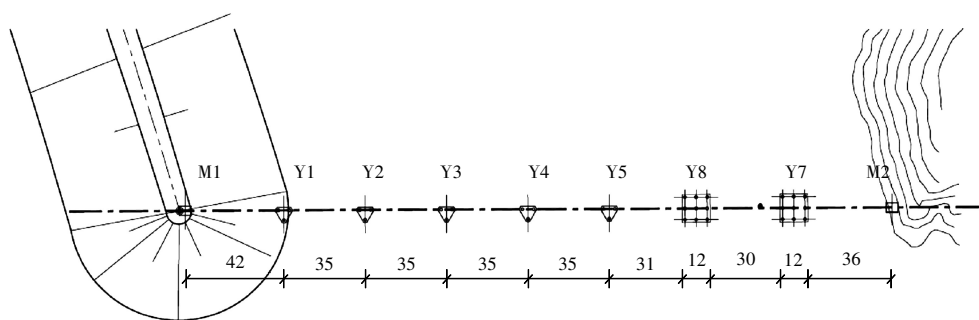


图1 “一”字形拦污网布置形式

Fig. 1 The trash blocking net with in-line layout

拦污网由主缆绳、一级网片和二级网片组成,拦污网平面结构如图2所示。主缆绳采用 $\phi 40$ mm 迪尼玛缆绳;一级网片采用 $\phi 20$ mm 迪尼玛缆绳,

并通过锚环与高桩承台连接;二级网片为 $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 的合金网片,直接悬挂在一级网片上,便于拆卸和更换。

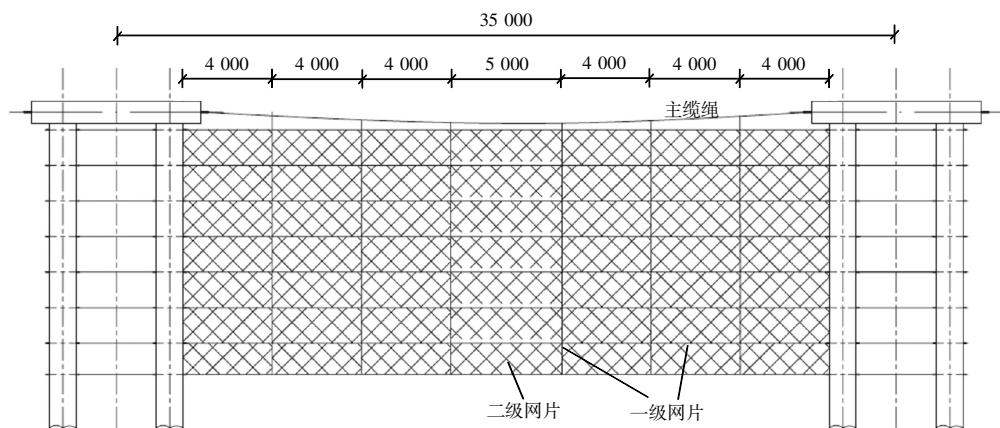


图2 拦污网平面结构图

Fig. 2 Plane structure diagram of trash blocking net

3 试验方法

1) 模型比尺: 试验模型按 JTJ/T 234—2001《波浪模型试验规程》等规范^[1-3]的要求进行设计,模型比尺为1:40。

2) 拦污网模拟: 理论上对于拦污网的模拟应满足几何相似、阻力相似、重力相似和弹性相似。试验过程中,经过模型比尺缩放后的网片直径往往很小,很难找到合适的试验材料。根据已有的研究成果^[4-6],对于拦污网的模拟首先要满足阻力相似。

根据 NBT 25002—2011《核电厂海工构筑物设计规范》规定,作用在网片上的水阻力常用莫里森公式,即

$$F = C_d A \frac{\rho}{2} u^2 \quad (1)$$

式中: F 为网片对水流的阻力; C_d 为水阻力系数; A 为网线在垂直水流方向的投影面积; ρ 为水体密度; u 为水流速度。从式中可以看出,网片的阻水特性和网线在垂直水流方向的投影面积 A (或网线直径与目脚长度的比值) 有关。故试验过程中,当满足模型网片与原型网片的投影面积相似时,可以得到:

$$\frac{d_p}{d_m} = \frac{a_p}{a_m} = \gamma' \quad (2)$$

式中: d_p , d_m 为原型和模型网线的直径; a_p , a_m 为原型和模型网线的目脚长度(网孔大小)。因此,当模型与原型中的雷诺数处于阻力平方区,只要保证原型和模型的投影面积(网片透水率)相似,即可保证模型网片与原型网片的动力条件相似。

采用阻力相似的网片模型与理论计算的网片模型在重量上有所差异,因此试验过程中对网片模型的重量进行修正调整,以此满足网片的重量相似。

3) 缆绳模拟:保证缆绳的长度和弹性相似,模拟的缆绳弹性曲线和理论曲线基本相似。缆绳的受力-伸长曲线按《波浪模型试验规程》给出的公式进行计算。

4) 试验设备及仪器:试验在 $60\text{ m} \times 40\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的大型水池中进行,测量仪器包括智能数据采集仪、波高传感器、拉力传感器、总力仪、小威龙流速仪等。

4 试验结果

物理模型试验重点研究了设计水位条件下,拦污网堵塞率 10%、20%、30% 和 50% 的工况。包括以下 3 种工况:

1) 单纯取水流量工况

图 3 给出了单纯取水流量工况下,设计水位、不同取水流量和不同堵塞率条件下各高桩承台间拦污网主缆绳的最大拉力,取水量 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 时,堵塞率 10%~50% 时的主缆绳最大拉力为 170~270 kN。

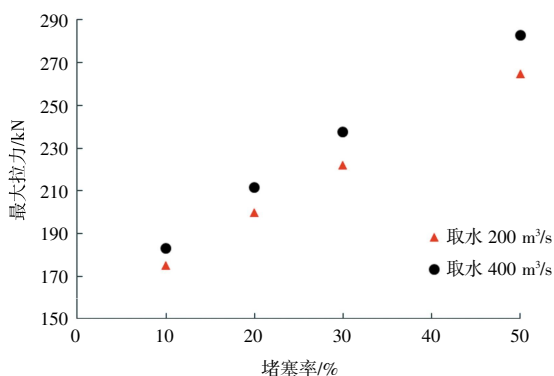


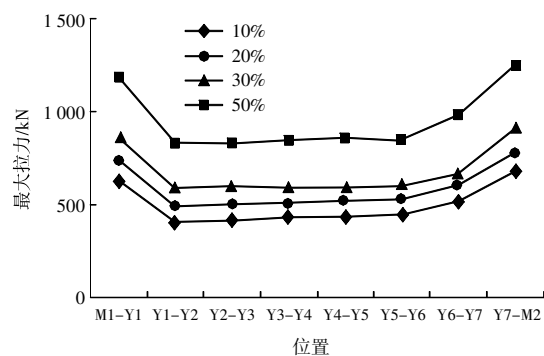
图 3 单纯取水工况下主缆绳的最大拉力

Fig. 3 The maximum tension of the cable on simple water intaking condition

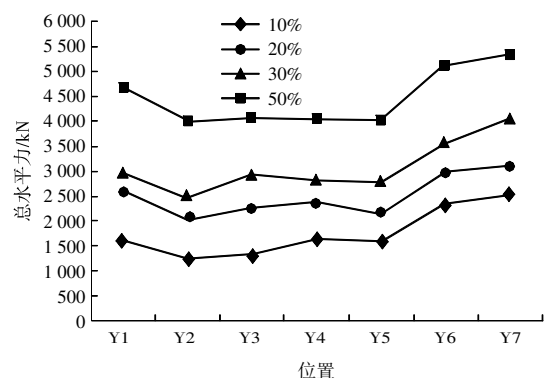
2) 单纯波浪作用工况

图 4 给出了在设计水位 4.41 m, 100 a 一遇波浪 $H_{13\%} = 6.11\text{ m}$ 、 $\bar{T} = 11.2\text{ s}$ 的单纯波浪作用下,不同堵塞率条件下各高桩承台间拦污网主缆绳的最大拉力以及各高桩承台受到的最大水平波浪力和浮托力。

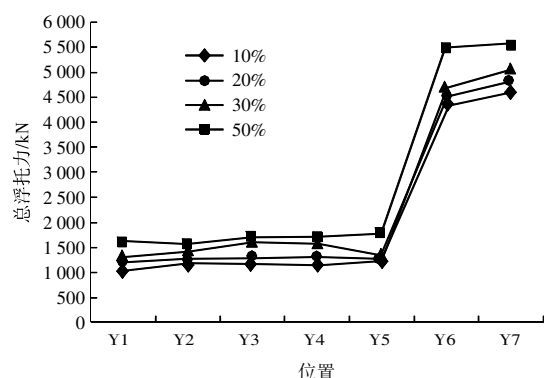
随着堵塞率的增大,各区段主缆绳的最大拉力也明显增大,特别是由于两侧的地形变化,波



(a) 主缆绳最大拉力



(b) 高桩承台最大波浪水平力



(c) 高桩承台最大波浪浮托力

图 4 单纯波浪工况下试验结果

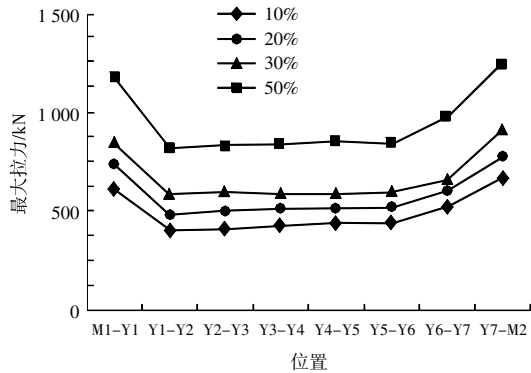
Fig. 4 Test results of the simple wave condition

浪在堤头和岸边发生破碎,波浪破碎后形成的冲击水流对两侧的拦污设施结构有较大的冲击作用,因此两侧区段主缆绳的最大拉力要大一些,以及两侧的高桩承台受到的波浪水平力也相对较大。对于波浪浮托力,三桩承台 Y1—Y5 相差不大,最大波浪浮托力约 1 700 kN;九桩承台 Y6—Y7 由于承面积大,浮托力也大。

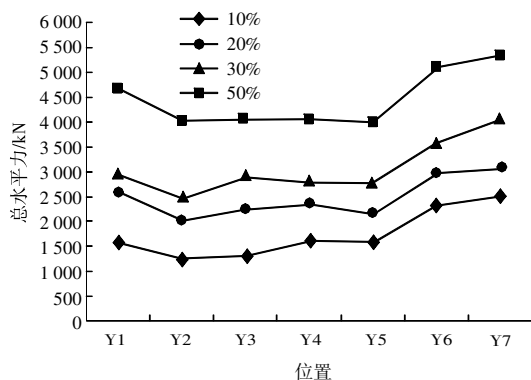
3) 取水流量+波浪联合作用工况

图 5 给出了在设计水位为 4.41 m, 取水流量为 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 以及 100 a 一遇波浪 $H_{13\%} = 6.11\text{ m}$ 、

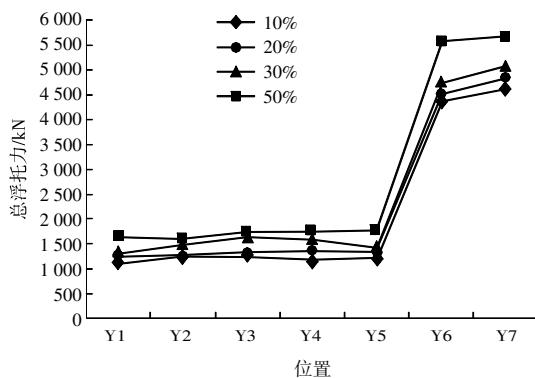
$\bar{T}=11.2\text{ s}$ 联合作用下,不同堵塞率条件下各高桩承台间拦污网主缆绳的最大拉力以及各高桩承台受到的最大水平波浪力和浮托力。



(a) 主缆绳最大拉力



(b) 高桩承台最大波浪水平力



(c) 高桩承台最大波浪浮托力

图5 取水流量和波浪联合作用试验结果

Fig. 5 Test results of combined action of water intake and wave

从试验数据可以看出,取水流量对拦污设施结构受力的影响很小,拦污设施结构受力主要受控于波浪。各高桩承台的联合作用工况波浪力与

单纯波浪作用时的总体规律一致。由于波浪在拦污网两侧的防波堤堤头和岸边发生破碎,波浪破碎后形成的冲击水流对两侧的拦污设施结构有较大的冲击作用,因此水平力较大。

随着拦污网的堵塞率增大,拦污设施结构的受力明显增大,当堵塞率达到30%时,拦污网主缆绳的拉力已超过缆绳的设计破断力,通过试验建议主缆绳的直径增大至48 mm或52 mm。

5 结语

为保证核电厂的取水安全,考虑到高堵塞率情况下,一方面口门处取水流速过大导致底床不稳,另一方面拦污网结构受力较大,结合本次取水拦污设施波浪物理模型试验研究成果,建议现场加强对水下拦污网堵塞情况的监视,并及时清理污染物,建议堵塞率不要超过20%。

另外,在以波浪为控制因素的拦污设施结构设计中,重点关注波浪破碎后的冲击流对拦污设施结构受力的影响,必要时应采用相关模型试验进行测试。

参考文献:

- [1] JTJ/T 234—2001,波浪模型试验规程[S].
JTJ/T 234—2001, Wave model test regulation[S].
- [2] JTS 165—2013,海港总体设计规范[S].
JTS 165—2013, Overall design code for sea ports[S].
- [3] JTS 145—2015,港口与航道水文规范[S].
JTS 145—2015, Code of hydrology for harbor and waterway[S].
- [4] 桂福坤,李玉成,张怀慧.网衣受力试验的模型相似条件[J].中国海洋平台,2002,17(5):22-25.
GUI Fu-kun, LI Yu-cheng, ZHANG Huai-hui. The proportional criteria for model testing of force acting on fishing cage net[J]. China Offshore Platform, 2002, 17(5): 22-25.
- [5] 宋伟华.网衣波浪水动力学研究[D].青岛:中国海洋大学,2006.
SONG Wei-hua. Study on the mechanics of wave forces on the netting panel[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006.
- [6] 李玉成,桂福坤,张怀慧,等.深水养殖网箱试验中网衣相似准则的应用[J].中国水产科学,2005(2):179-187.
LI Yu-cheng, CUI Fu-kun, ZHANG Huai-hui, et al. Simulation criteria of fishing nets in aquaculture sea cage experiments[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005(2): 179-187.
- [7] 某核电厂波浪场推算数学模型试验报告[R].天津:中交天津港湾工程研究院有限公司,2007.
Numerical wave calculation test report of one nuclear power plant [R]. Tianjin: CCCC Tianjin Port Engineering Institute Co., Ltd., 2007.